Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 213-233.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 1. P. 213-233.

КОРМОПРОИЗВОДСТВО И КОРМА

Обзорная статья
УДК 633.31:576.8.094
doi: 10.33284/2658-3135-109-1-213

Микробиологический потенциал люцерны и его влияние на силосуемость

Елена Валентиновна Косолапова[1], Николай Николаевич Кучин[2], Владимир Викторович Косолапов[3]
[1,2,3]Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия
[1]K-art-inka@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0793-0847
[2]nkuchin53@mail.ru
[3]Vladimir.Kosolapov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6061-2701

Аннотация. В статье обобщены результаты отечественных и зарубежных исследований, посвященных изучению микробиологического разнообразия эпифитной микрофлоры люцерны (*Medicago sativa L.*) – одной из ключевых кормовых культур. Раскрыты особенности культуры, указывающие на ее трудносилосуемость. Проанализирован состав и динамика численности основных групп микроорганизмов (молочнокислые бактерии, энтеробактерии, дрожжи и плесневелые грибы) в микробиоме люцерны в зависимости от фазы вегетации, сорта и климатических условий возделывания и влияния эпифитной микрофлоры на процессы ферментации при силосовании. Показано, что естественная эпифитная микрофлора люцерны характеризуется низкой численностью молочнокислых бактерий (от 10 до 10^5 КОЕ/г), но значительным многообразием (*Lactiplantibacillus*, *Levilactobacillus*, *Lacticaseibacillus*, *Latilactobacillus*, *Lentilactobacillus*, а также *Pediococcus, Streptococcus, Leuconostoc*) с преобладанием гетероферментативных форм, что затрудняет спонтанное сбраживание. Это усугубляется высоким содержанием энтеробактерий (до 10^8 КОЕ/г), дрожжей и плесневелых грибов (от 10^6 до 10^7 КОЕ/г). Установлено, что в зависимости от географической и климатической неоднородности формируются различия в исходном микробном потенциале, который в совокупности со степенью доступности водорастворимых углеводов определяет направление ферментации и качество корма. Обоснована необходимость применения адаптивных технологических приемов для стабилизации процесса ферментации и повышения эффективности силосования люцерны.

Ключевые слова: люцерна, эпифитная микрофлора, силосование, бактерии, консервирование, питательность

Для цитирования: Косолапова Е.В., Кучин Н.Н., Косолапов В.В. Микробиологический потенциал люцерны и его влияние на силосуемость (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 213-233. [Kosolapova EV, Kuchin NN., Kosolapov VV. Microbiological potential of alfalfa and its impact on silage production (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):213-233. (In Russ.)]. https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-213

FODDER PRODUCTION AND FODDERS

Review article

Microbiological potential of alfalfa and its impact on silage production

Elena V Kosolapova[1], Nikolay N Kuchin[2], Vladimir V Kosolapov[3]
[1,2,3]Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia
[1]K-art-inka@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0793-0847
[2]nkuchin53@mail.ru
[3]Vladimir.Kosolapov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6061-2701

Abstract. This article summarizes the results of domestic and international studies devoted to the microbiological diversity of the epiphytic microflora of alfalfa (*Medicago sativa L.*), a key forage crop.

©Косолапова Е.В., Кучин Н.Н., Косолапов В.В., 2026

Characteristics of this crop that indicate its difficulty in ensilage are revealed. The composition and population dynamics of the main microbial groups (lactic acid bacteria, enterobacteria, yeasts, and molds) are analyzed depending on the vegetation phase, variety, and climatic conditions of cultivation, as well as the influence of epiphytic microflora on fermentation processes during ensiling. It has been shown that the natural epiphytic microflora of alfalfa is characterized by a low number of lactic acid bacteria from (10 to 10^5 CFU/g), but significant diversity (*Lactiplantibacillus, Levilactobacillus, Lacticaseibacillus, Latilactobacillus, Lentilactobacillus, as well as Pediococcus, Streptococcus, Leuconostoc*) with a predominance of heterofermentative forms, which complicates spontaneous fermentation. This is aggravated by the high content of enterobacteria up to 10^8 CFU/g, yeasts and molds from 10^6 to 10^7 CFU/g. It has been established that, depending on geographical and climatic heterogeneity, differences in the initial microbial potential are formed, which, together with the degree of availability of water-soluble carbohydrates, determines the direction of fermentation and the quality of the feed. The need for adaptive technological methods to stabilize the fermentation process and improve the efficiency of alfalfa ensiling is substantiated.

***Keywords*:** alfalfa, epiphytic microflora, ensiling, bacteria, preservation, nutritional value

For citation: Kosolapova EV, Kuchin NN., Kosolapov VV. Microbiological potential of alfalfa and its impact on silage production (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):213-233. (In Russ.). https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-213

Введение.

В России многолетние бобовые травы в сфере кормопроизводства занимают особое место. Как в РФ, так и на мировом уровне наиболее широкое распространение получила люцерна (*Medicago sativa*), благодаря ряду ценных свойств: высокому содержанию сырого (более 15 % от СВ) и перевариваемого протеина (более 118 г/кг СВ), концентрации обменной энергии (около 10 МДж/кг СВ). Силосование подобного вида сырья позволяет практически полностью сохранить его ценные свойства до «кормушки». Современное понимание силосования выросло из классической теории сахарного минимума А.А. Зубрилина (1938), согласно которой способность растения к подкислению определяется не абсолютным содержанием водорастворимых углеводов (ВРУ), а их соотношением с буферной емкостью сырья.

Положениями данной теории обоснованы трудности получения качественного силоса из люцерны. В фазу бутонизации при содержании СВ 13,79 % отмечена высокая буферная емкость, которая у свежескошенной массы варьирует в пределах 6,9 % от СВ, низкое содержание водорастворимых углеводов (ВРУ) 5,6 % от СВ, сахаро-буферное отношение 0,81, коэффициент сбраживаемости 20,3, что позволяет отнести культуру к несилосуемым (Победнов Ю.А и др., 2018; Ганущенко О., 2020).

Кроме того, отдельного внимания заслуживает протеолитическая активность люцерны при pH≈4,0 (Tao L et al., 2012). Этот факт объясняет, почему люцерна теряет белок при достаточно низком значении pH силоса и повышается содержание аммиака. Установлено (Победнов Ю.А. и др., 2019), что только при pH≤4,4 и содержании сухого вещества 40-45 % удается подавить протеолиз и минимизировать аммиакообразование. Поэтому при силосовании люцерны огромное значение имеют не только скорость, но и степень подкисления.

Кроме химического состава, при силосовании большое значение имеет эпифитное микробиологическое разнообразие растений. В условиях современного кормопроизводства термин «силосуемость» уступает место понятию «сбраживаемость» – потенциальной способности растительной массы к подкислению при заданных условиях ферментации (Победнов Ю.А., 2021). Это подчеркивает, что микробиологический потенциал эпифитной микрофлоры становится ключевым фактором, определяющим направление и эффективность ферментации. Этого мнения придерживаются ученые разных стран (Wu M et al., 2021). Особенно важно контролировать развитие представителей нежелательной эпифитной микрофлоры – пищевых конкурентов молочнокислых бактерий. Отмеченные выше низкое содержание ВРУ, высокая буферная емкость у бобовых трав затрудняют получение качественного силоса на основе спонтанного молочнокислого брожения (Hu Z et al.,

2020). Эффективное протекание ферментации возможно обеспечить лишь при чётком контролировании микробиологических процессов на стадии заготовки и хранения.

Сложные биохимические преобразования в процессе подготовки и проведения силосования связанны с постепенной целенаправленной сменой одних биоценозов другими. Они обусловлены влиянием на микрофлору сырья природных факторов (температура, влажность и атмосферное давление окружающей среды).

Следовательно, заготовка силоса в определяющей мере зависит от микробной ферментации (Gollop N et al., 2005), а качество и стабильность готового консервированного корма представляет собой результат жизнедеятельности микробного сообщества и выработки им митаболитов (Ávila CLS and Carvalho BF, 2020). Этого мнения придерживаются многие отечественные (Квасников Е.И. и Нестеренко О.А., 1975; Бондарев В.А. и др., 2016; Победнов Ю.А., 2021) и зарубежные исследователи (Gollop N et al., 2005; Wu M et al., 2021; Zhou H et al., 2024). Они отмечают, что состав эпифитной микрофлоры имеет существенные различия в зависимости от вида и состояния силосуемых культур и условий окружающей среды. На значительное различие кормовых растений указывают и Duniere L с соавторами (2017) .

В связи с этим необходимо обобщить накопленный опыт по изучению микробиологического многообразия эпифитной микрофлоры многолетних бобовых культур на примере люцерны. Это позволит уточнить некоторые положения научной теории силосования бобовых трав для определения наиболее рациональных технологических подходов, направленных на эффективное регулирование процесса ферментации в силосуемой массе.

Актуальность таких исследований объясняется тем, что силосование является наиболее распространенной технологией консервирования кормов во всем мире, т. к. оно обеспечивает снижение потерь питательных веществ, облегчает пищеварение и усвоение консервированного корма животными, повышает ценность его использования (Shang ZD et al., 2019). Качественный силос имеет ароматный и кисловатый вкус, который стимулирует аппетит скота и способствует хорошей поедаемости корма.

Цель исследования.

Обобщить и систематизировать накопленный опыт изучения эпифитной микрофлоры люцерны, её особенностей и влияния на процессы ферментации при силосовании и качество корма для обоснования адаптивных технологий консервирования.

Материалы и методы исследований

Объект исследования. Эпифитная микрофлора люцерны: ее состав, численность, динамика изменения под влиянием внешних факторов и роль в процессе ферментации при силосовании.

Методы исследования. Аналитический обзор построен на основе более чем 70 отечественных и зарубежных научных источников за период с 1950 по 2024 годы, посвященных изучению эпифитной микрофлоры бобовых культур и содержащих количественные данные по микробиоте люцерны как модельной культуре бобовых. При отборе источников учитывали~~сь~~ рецензируемые публикации Scopus, Web of Science и РИНЦ.

Сравнительный анализ данных литературы, включающих результаты классических микробиологических исследований (Kroulik JT et al., 1955; Slanetz LW and Bartley CH, 1957; Квасников Е.И. и Нестеренко О.А., 1975; McDonald P et al., 1991; Lin C et al., 1992; Muck RE, 2013; Победнов Ю.А., 2021) и современных подходов с использованием NGS-секвенирования (Gharechahi J et al., 2017; Wu B et al., 2023; Йылдырым Е.А. и др., 2023).

Обобщение и систематизацию материала осуществляли на основании рассмотрения количественных показателей численности молочнокислых бактерий (КОЕ/г), энтеробактерий, дрожжей, плесени в эпифитной микрофлоре люцерны. Заключение о их влиянии на процессы ферментации при силосовании люцерны и качество корма строились на основании имеющихся в литературе ре-

зультатов исследований отечественных и зарубежных авторов благодаря систематизации данных о видовой принадлежности, особенностях среды обитания и продуцировании метаболитов.

Для единообразия представления показателей, количественные данные о представителях микробиологического сообщества эпифитной микрофлоры, выраженные авторами в логарифмических единицах (Log КОЕ/г), приведены в перерасчете на абсолютные значения КОЕ/г на основании стандартного математического выражения (1).

$$Log_{10}\left(\frac{КОЕ}{г}\right) = x \quad (1)$$

$$\left(\frac{КОЕ}{г}\right) = 10^{x}$$

Для обеспечения корректности представления данных о составе эпифитной микрофлоре люцерны таксономическая идентификация молочнокислых бактерий осуществлена в соответствии с современной номенклатурой, утвержденной Международным комитетом по систематике прокариот (ICSP). При интерпретации данных использована актуальная классификация, предложенная Zheng J с коллегами (2020), согласно которой род *Lactobacillus* реклассифицирован на 25 новых родов, включая *Lactiplantibacillus, Lentilactobacillus, Lacticaseibacillus* и др Это позволило унифицировать ранее применявшиеся в литературе названия и исключить разночтение между историческими и современными таксономическими трактовками. При анализе литературных данных названия других родов также приведены в соответствующими систематическими решениями ICSP.

Результаты исследования и их обсуждение.

В процессе заготовки силоса, по утверждению Kroulik JT с соавторами (1955), способствовать или препятствовать желаемой ферментации растительного материала могут различные факторы посредством их воздействия на микробную флору. Как показано в ряде исследований (Muck RE, 2013; Победнов Ю.А., 2021; Wu B et al., 2023; Йылдырым Е.А. и др., 2023), эпифитная микрофлора бобовых трав может содержать до 10^5-10^6 КОЕ/г массы растений, включая как полезные, так и нежелательные, и патогенные организмы. Нежелательные микроорганизмы могут снижать содержание сухого вещества и ВРУ в корме (Pedroso AF et al., 2005) и вызывать нежелательные профили ферментации, такие как образование масляной кислоты (Visser MMM et al., 2007).

Молочнокислые бактерии (МКБ): их состав, численность и ферментационный потенциал играют основополагающую роль в процессе силосования. Установлено (Östling C and Lindgren S, 1995; O'Brien M et al., 2006), что эпифитное микробиологическое сообщество зеленой массы люцерны в большинстве случаев характеризуется ограниченным набором МКБ, представленных несколькими родами – *Lactiplantibacillus*, *Levilactobacillus*, *Lacticaseibacillus*, *Latilactobacillus*, *Lentilactobacillus*, а также *Pediococcus, Streptococcus, Leuconostoc.*

Эпифитная микрофлора люцерны представляет собой динамичное микробное сообщество, в котором ключевое значение для процесса силосования имеют молочнокислые бактерии – грамположительные каталазоотрицательные, не образующие эндоспор микроорганизмы, относящиеся к облигатным или факультативным анаэробам (Бондарев В. А. и др., 2016).

На люцерне в условиях умеренного климата преобладают палочковидные формы рода *Lactiplantibacillus, Lentilactobacillus, Lacticaseibacillus,* ранее объединенные в род *Lactobacillus* (Zheng M et al., 2018). Эти микроорганизмы обладают высокой кислотоустойчивостью и сохраняют метаболическую активность при снижении pH до 4,0, что обеспечивает их конкурентоспособность на поздних сроках силосования. Среди кокковых форм наибольшее значение имеют *Lactococcus*, *Streptococcus*. В анаэробных условиях МКБ могут использовать широкий спектр углеводов: фруктозу, галактозу, глюкозу, лактозу, мальтозу и маннит, пентозу, продуцируя различные метаболиты (Punia Bangar S et al., 2022): молочную и уксусную кислоты (Zhang JG et al., 2000), короткоцепочечные жирные кислоты, амины, бактериоцины (Wang Y et al., 2021). В качестве источника азотно-

го питания молочнокислые бактерии потребляют аминокислоты и пептиды, частично включая их в собственный белок, а частично подвергая дезаминированию (McDonald P et al., 1991).

В зависимости от характера сбраживания углеводов и условий окружающей среды, особенно от наличия кислорода, значения pH и температуры, МКБ могут направлять процесс ферментации по различным сценариям с образованием различных продуктов распада (Neves AR et al., 2005; Wee YJ et al., 2006).

Облигатно гомоферментативные МКБ (*Pediococcus acidilactici* и *Limosilactobacillus acidophilus*) ферментируют углеводы по гликолитическому пути Эмбдена–Мейергофа–Парнаса, в результате гликолиза образуется до 98 % молочной кислоты (Стоянова Л.Г. и др., 2012). Принято считать, что они могут полностью сбраживать сахара в молочную кислоту, которая обладает высокой энергетической питательностью, с выходом 1 кг кислоты из 1 кг сахара (Бондарев В.А. и др., 2016). Количество побочных продуктов зависит от доступности кислорода (Wróbel B et al., 2023).

Облигатно гетероферментативные МКБ (*Lentilactobacillus buchneri*, *Lentilactibacillus hilgardii*, *Lentilactibacillus diolivorans)* запускают процесс ферментации по 6-фосфоглюконат-фосфокетолазному пути Варбурга–Диккенса–Хорекера (Salminen S, 1998). Он характеризуется тем, что начальное превращение глюкозы идёт исключительно по пентозофосфатному пути, т.е. глюкоза после окисления до глюкозо-6-фосфата превращается в рибулозо-5-фосфат с одновременным образованием молекулы CO_2. Рибулозо-5-фосфат расщепляется на глицеральдегид-3-фосфат и фруктозо-6-фосфат. Глицеральдегид-3-фосфат в тех же реакциях, что и в пути гликолиза, превращается в пируват и далее в молочную, уксусную кислоту или этиловый спирт. Следовательно, в результате гетероферментации глюкозы получается по 1 молю молочной кислоты и этилового спирта или уксусной кислоты и CO_2. При сбраживании фруктозы, гетероферментативными бактериями образуется лактат, ацетат, CO_2 и маннитол. Фруктоза при этом служит акцептором избыточных восстановительных эквивалентов (De Vuyst L and Leroy F, 2007). При гетероферментации образуется множество соединений: уксусной кислоты, этанола, CO_2, в отдельных случаях маннитола и пропандиола (Punia Bangar S et al., 2022). При этом молочная кислота составляет чуть более 50 % (Бондарев В.А. и др., 2016).

Также в эпифитной микрофлоре встречаются факультативные гетеро- / гомоферментативные МКБ (*Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lentilactobacillus parafarraginis*, *Lacticaseibacillus paracasei*, *Lactiplantibacillus plantarum, Lacticaseibacillus zeae* и др. (Wróbel B et al., 2023). Они проявляют метаболическую гибкость: гектозы (глюкоза, фруктоза) сбраживаются гомоферментативно, тогда как пентозы (рибоза, ксилоза) и глюконат метаболизируются через фосфокетолазный путь с образованием лактата и ацетата (Абдуллаева Н.Ф. и др., 2017). Этот механизм играет критическую роль в качестве силоса и должен учитываться при выборе технологических подходов. Еще А Виртанен утверждал, что консервирование корма при силосовании зависит от определенной концентрации именно молочной кислоты, а не от активной кислотности, создаваемой этой и сопутствующими кислотами.

По мнению McDonald P с коллегами (1991), только гомоферментативные бактерии полезны. По словам автора, другие либо вызывают неэффективную ферментацию, либо приводят к порче готового корма.

При этом не только вид молочнокислых бактерий, но и их численность играют определяющую роль в производстве высококачественного силоса. Установлено (Каарли Л.И. и Лемминг Э.Я., 1977; Pahlow G, 1993; Weissbach F, 1996), что оптимальным количеством молочнокислых бактерий служит 10^5-10^7 КОЕ в 1 г растительной массы. При указанной численности эпифитных МКБ получение высококачественного силоса из обеспеченных сахаром свежескошенных и провяленных трав происходит независимо от содержания нитратов. Однако имеются данные (Квасников Е.И. и Нестеренко О.А., 1975), что у бобовых культур МКБ не доминируют в составе эпифитной микрофлоры. Численность современных родов семейства *Lactobacillaceae – L. plantarum, L. brevis, L. casei, L. rhamnosus, L. curvatus, L. gasseri, L. pentosus*), как и присутствие бактерий рода *Pediococcus* (*P. pentosaceus, P. acidilactici, P. damnosus*) не превышает 1×10^3 КОЕ/г в зеленой массе растущей

люцерны (Fabiszewska AU et al., 2019). При этом в их составе часто преобладают гетероферментативные формы (Ben-Dov E et al., 2006).

Согласно Lin C с соавторами (1992), численность и структура эпифитных МКБ динамично меняется: на растущих растениях люцерны они представлены *Lactiplantibacillus, Lentilactobacillus, Lacticaseibacillus, Pediococcus* и *Leuconostoes* (0,5 % от общей популяции). Их количество было различным и колебалось в диапазоне от менее 10 до 10^4 КОЕ/г. В процесс провяливания в валке структура МКБ изменилась: доминировали представители *Streptococcus*. После измельчения люцерны в массе преобладали *Streptococcus, Lactiplantibacillus, Lentilactobacillus, Lacticaseibacillus.*

Исследования Gharechahi J с коллегами (2017) показали, что в процессе ферментации люцернового силоса ключевую роль играют представители именно этих родов, а также *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* и *Enterococcus*. Установлено, что *Lactococcus lactis* является одним из основных продуцентов органических кислот, формирующих кислую среду и обеспечивающих эффективную консервацию растительной массы (Baah J et al., 2005; Filya I et al., 2007).

В свое время, в период с 2000 по 2015 г., в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (г. Казань) в рамках Программы фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса Российской Федерации Шурхно Р.А. (2016) были проведены исследования, направленные на изучение соотношения основных физиологических групп эпифитной микрофлоры клевера лугового (*Trifolium pretense L.*) сорт Ранний-2, козлятника восточного (*Galega orientalis Lam.*) сорт Гале, люцерны изменчивой (*Medicago*) сорт Айслу в фазе бутонизации в момент их скашивания. Автор указывает, что эпифитная микрофлора данных бобовых культур характеризовалась сравнительно низкой численностью молочнокислых бактерий, содержание которых находилось в пределах от $9{,}0 \cdot 10^4$ до $1{,}5 \cdot 10^5$ КОЕ/г. При этом численность аммонифицирующих бактерий превышала численность МКБ в 1,4 и 2 раза. Количество дрожжей варьировало в диапазоне $3{,}5 \cdot 10^5$ до $4{,}50 \cdot 10^5$ КОЕ/г. Численность микромицетов и бактерий группы кишечной палочки находилась в пределах $5{,}0 \cdot 10^3$ до $1{,}1 \cdot 10^4$ КОЕ/г и $1{,}0 \cdot 10^3$ до $3{,}0 \cdot 10^3$ КОЕ/г соответственно. Доминирующей физиологической группой в составе эпифитной микрофлоры клевера лугового, козлятника восточного и люцерны являлись аэробные гетеротрофные микроорганизмы, численность которых составляла от $1{,}5 \cdot 10^7$ до $4{,}8 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Таким образом, результаты исследований также свидетельствуют, что молочнокислые бактерии в эпифитной микрофлоре исследуемых бобовых культур а фазе бутонизации относятся к малочисленным филологическим группам.

Накопленный опыт доказывает, что наряду с полезной молочнокислой микробиотой в фитомассе постоянно присутствуют нежелательные для процесса ферментации и формирования качественного силоса микроорганизмы. К их числу относятся представители *Enterobacteriaceae* (энтеробактерий), которые являются основными конкурентами молочнокислых бактерий за сахара, дрожжи – инициаторы аэробной порчи, плесневелые грибы – продуценты микотоксинов. От численности и влияния каждой из этих групп зависит сила и направление ферментации, поэтому их баланс имеет принципиальное значение для технологии силосования.

В своей работе Lindgren S с соавторами (1985) указывают, что в микрофлоре люцерны молочнокислых бактерий в 100-1000 раз меньше, чем *Enterobacteriaceae* с числом до 10^8 КОЕ/г. Это связано с ботаническими особенностями бобовых культур: низким содержанием ВРУ – часто менее 6 % от сухого вещества), высоким буферным потенциалом, что создает неблагоприятные условия для быстрого роста эпифитных МКБ. По составу и численности их нередко недостаточно, чтобы инициировать преимущественное производство молочной кислоты. Известно (Смирнов В.А., 1983), что МКБ в фазе активного размножения почти не продуцируют молочную кислоту. Ее интенсивное образование начинается лишь после стабилизации популяции, что требует времени. Более того, конечная численность МКБ определяется исключительно содержанием ВРУ, а не стартовой инокуляцией, то есть даже высокая исходная численность эпифитных МКБ (10^5-10^6 КОЕ/г) при низком содержании углеводов не обеспечит быстрого снижения pH до 4,2 в течении первых 48 часов силосования, что критически важно для подавления клостридий и энтеробактерий (Победнов Ю.А.,

2021). При этом, как показывает практика, высокая скорость подкисления массы зависит не только от создания высокой численности МКБ к началу силосования, а прежде всего от улучшения их качественного состава.

Энтеробактерии являются основными конкурентами МКБ за сахара. Среди разнообразия микроорганизмов, населяющих филлосферу кормовых растений, в том числе и люцерны, они являются наиболее опасной группой. Это многочисленные факультативно анаэробные грамотрицательные бактерии, представляющие широкое метаболическое разнообразие, в числе которого преобладают *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Citrobacter* spp., *Klebsiella* spp. (Fabiszewska AU et al., 2019). Оптимальной для их роста является среда, близкая к нейтральной (pH от 6,0 до 7,0). Как и молочнокислые бактерии, они обладают повышенной осмофильностью, то есть способностью выживать в сильно концентрированной среде, что повышает их потенциальную опасность при консервировании растительной массы.

Энетробактерии сбраживают сахара по смешаннокислому пути с образованием лактата, сукцината, этанола, формиата и газов (CO_2 и H_2), что приводит к значительным потерям сухого вещества (McDonald P et al., 1991; Pahlow G et al., 2003), вызывают декарбоксилирование и дезаминирование аминокислот и способны использовать соединения азота в качестве источника энергии в процессах дыхания (Wróbel B et al., 2023).

Ограничительным параметром для них служит кислотность среды. Подкисление среды до pH ниже 4,5 предотвращает рост большинства штаммов (Driehuis F, 2013). В правильно засилосованном корме они развиваются только в первой фазе ферментации, когда концентрация ионов водорода не слишком высока. Однако, если процесс подкисления затянется, то получить силос с высокими показателями качества вряд ли получится, особенно из сырья с высоким содержанием белка.

Дрожжи всегда населяют поверхность растений. Это особая группа эпифитной микрофлоры. Они не составляют одного таксона, а встречаются в нескольких линиях царства грибов. Дрожжи представляют собой полифилетическую морфофизиологическую группу Fungi (грибов), объединяющую микроскопические одноклеточные организмы, способные к почкованию и делению. Они являются факультативными анаэробами, но более активны в аэробных условиях.

Повышение силосуемости бобовых трав за счет увеличения содержания простых углеводов создает благоприятные условия для развития дрожжей, которые активно используют сахара как питательный субстрат. Дрожжи, при наличии кислорода, в том числе и *Picha kudriavzevii, Candida humilis*, начинают активно усваивать сахара (глюкозу, фруктозу, сахаразу, мальтозу), запуская окислительные процессы, которые сопровождаются выделением этилового спирта, углекислого газа и тепла, что обусловливает увеличение потерь энергетической питательности силосуемой массы (Бондарев В.А. и др., 2016). При этом этилового спирта в силосе может накапливаться до 1,5 %. Поэтому важно предусмотреть технологические приёмы, направленные на подавление их роста.

После герметизации силосуемой массы концентрация O_2 падает до <0,5 %. В этих условиях дрожжи прекращают окисление сахаров, теряют возможность размножения при условии значения pH<4,0. В этом случае они переходят в латентное состояние. Исследования Zielke J и Pitera B (2018) показали, что даже в анаэробных условиях при O_2<0,5 % и pH 4,0-4,5 дрожжи (*Pichia fermentans, Candida ethanolica, Kazachstania exigua*) сохраняют жизнеспособность до 60 суток, не проявляя метаболической активности. При этом полное подавление роста отмечено авторами только при pH<3,8 и осмолярности > 3 осмол/кг.

Следует различать сахаролитические дрожжи (*Candida*), активно сбраживающие сахара в анаэробных условиях, и лактат-утилизирующие (*Kazachstania exigua*, *Pichia fermentans*), способные окислять молочную кислоту при поступлении кислорода, что приводит к повышению pH и развитию вторичной ферментации. Отечественные авторы (Бондарев В.А. и др., 2016) утверждают, что дрожжи способны окислять молочную кислоту даже при невысокой концентрации кислорода в силосном газе (0,2-0,5 %). При этом следует учитывать, что при поступлении кислорода и повышении pH>4,0 происходит их реактивация (Pahlow G et al., 2003). Результаты их деятельности способствуют повышение pH и разрушению кислотного барьера, создавая условия для развития плесеней

и бактерий рода *Clostridium*. Чтобы этого избежать, необходима надежная герметизация, быстрое стабильное подкисление до pH<4,2.

Отдельно стоит выделить группу плесневых грибов среди микроорганизмов, составляющих эпифитную микрофлору люцерны. По словам ряда авторов (Schnurer J and Magnusson J, 2005), консервированные корма чаще всего поражаются нитевидными грибами. Люцерна является накопителем большого видового разнообразия патогенных видов грибов, местом сохранения которых является почва (Хамираев У.К. и Камилов Ш.Г., 2022). При микологическом анализе корней и стеблей угнетенных растений люцерны в 90 % случаев выделяли вид *Fusarium oxysporum*, а также такие виды фузариев, как *F. solani*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* и виды родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* и другие.

В свою очередь Хамираев У.К. и Камилов Ш.Г. (2022) утверждают, что на поверхности люцерны, преимущественно в розетке, локализуются такие патогены как *Alternaria tenuissima*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus glaucus*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium glabrum*, *Penicillium glaucum*. По данным Drouin P с коллегами (2022) среди популяции грибов в эпифитной микрофлоре люцерны, а в частности плесени, преобладают *Cladosporium* (6,4 % от общего содержания грибов).

Наличие влаги, глюкозы, тепла, кислая среда и отсутствие света – идеальные условия для плесневелых грибов. Рост многих их видов, в том числе *Penicillium* и *Aspergillus*, возможен преимущественно в кислой и слабокислой средах, характерных для силоса. Доказано существование плесеней *Penicillium Freightans* и *Aspergillus niger* в средах с pH от 2,0 до 8,0, а рост *Aspergillu clavatus* происходит в средах с pH от 2,2 до 11,0 и выше. При увеличении щелочности среды, повышении содержания сухого вещества рост гиф, спорообразование, прорастание спорангиоспор и конидий замедляются (Войцеховская М.С. и Котова Ю.С., 2024). Однако экспериментально подтверждена способность плесени выживать при недостатке влаги, прекращать рост в сухой рыхлой среде и продолжать его при добавлении воды. При анаэробных условиях плесень способна добывать кислород из поражаемой органической среды. Отдельные виды могут развиваться и при ограниченном доступе кислорода**.** Большинству грибов требуется 1-2 % кислорода (Ахмадышин Р.А. и др., 2007). Однако есть и исключения, например, *Fusarium moniliforme* способен расти в условиях 60 %-ной концентрации углекислого газа и при содержании кислорода менее 0,5 % (Сэнтин Э., 2005). В свою очередь Kroulik JT с соавторами (1955) указывали на значительные популяции дрожжей и плесени на люцерне – от 10^6 до 10^7 КОЕ/г.

Микотоксиногенные плесневые грибы, такие как *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium,* синтезируют высокотоксичные метаболиты, известные как микотоксины (Dalié DKD et al., 2010). Они способны производить афлатоксины (B1, B2, M1, M2, G1, G2), охратоксины A и B, патулин, трихотецены, лютеоскирин, циклохлоротин. Существует несколько подходов для борьбы с плесневелыми грибами. Они основаны на регулировании влажности кормовой массы, обеспечении быстрого перехода к анаэробным условиям, целенаправленном использовании МКБ, с антифунгальной активностью и применении химических консервантов, обладающих фунгицидными свойствами (Liu M et al., 2022; Sanchez-Torres P, 2024). Однако проблема микотоксинов в кормах сохраняет глобальный характер (Попов В.С. и др., 2018).

В последние годы активно исследуется антагонистическая активность молочнокислых бактерий по отношению к плесневелым грибам и возможность их использования в качестве биоконтролирующих агентов (Gao Z et al., 2019). Многочисленные исследования показали, что молочнокислые бактерии продуцируют различные антибактериальные вещества, включая бактериоцины, которые подавляют рост некоторых грибов – *Monilia, Aspergillus, Penicillium* и *Fusarium*. Пептиды, продуцируемые некоторыми штаммами молочнокислых бактерий, в основном *L. plantarum*, показали значительный ингибирующий эффект на рост мицелия и прорастание спор. Кроме того, другие активные метаболиты – лауриновая, гептадекановая, пальмитиновая и стеариновая кислоты, метиловый эфир 10-октадеценовой кислоты и 16-метиловый эфир ингибируют рост грибов в силосах (Carrizo NI et al., 2022). Проводятся исследования, направленные на идентификацию штаммов

молочнокислых бактерий, которые продуцируют уникальные метаболиты для предотвращения колонизации патогенных организмов во время процесса силосования (Kim D et al., 2021). При этом рост плесени на силосе нельзя исключать до последних дней его хранения и использования (Richard E et al., 2007).

Влияние внешних факторов: сортовое разнообразие, климатические условия, вегетационный период, также отражается на численности и структуре эпифитной микрофлоры люцерны.

При исследовании 38 сортов люцерны, выращенных в разных регионах Китая, было установлено (Li DongXia LD et al., 2018), что, несмотря на сравнительно низкое количество эпифитных молочнокислых бактерий, их таксономическое разнообразие было весьма широким – всего выделено 84 штамма, относящихся к 7 родам и 15 видам. Наиболее многочисленными оказались представители рода *Leuconostoc* (46,4 %), преимущественно *L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides* (22,6 %), *L. pseudomesenteroides* (13,1 %), *L. fallax* (7,1 %), *L. lactis* (2,4 %) и *L. citreum* (1,2 %). Также идентифицированы представители рода *Enterococcus – E. hirae* и *E. casseliflavus* (по 8,3 %), *E. faecium* (6,0 %); *Streptococcus parauberis* (2,4 %), *Weissella confusa* (11,9 %) и *Weissella cibaria* (2,4 %); *Pediococcus pentosaceus* (6,0 %), *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* (2,4 %), *Lactococcus garvieae* (2,4 %) и *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* (3,5 %). Эти микроорганизмы входили в состав эпифитной микробиоты всех исследованных образцов люцерны.

Зависимость эпифитной микрофлоры от сорта Lin J с коллегами (2023) изучили на шести видах люцерны, широко распространенных на севере Китая. Авторы установили, что, несмотря на различия химического состава между сортами, эпифитные бактериальные сообщества на люцерне, выращенной в один и тот же сезон и в одном регионе, были в целом похожи на уровне родов. Значимые различия установлены лишь для *Pantoea*. Было установлено высокое содержание этих бактерий в эпифитной микрофлоре люцерны (Na N et al., 2022). Они исследовали образцы с четырех полей в качестве повторности и установили, что на поверхности растений люцерны преобладали энтеробактерии (60-70 %), среди которых наиболее многочисленным был род *Pantoea*; его относительная доля составила 37,6 % (условные фитопатогены) и *Enterobacter* – 21,2 % (тормозят молочнокислое брожение)**.** Также значительную часть занимают *Pseudomonadaceae* (*Pseudomonas*) – 15,7 %. В некоторых случаях они могут развиваться в силосе, подверженном маслянокислому брожению и характеризующемся недостаточно низким уровнем pH. Разлагают протеин на токсичные составляющие.

Таким образом, из вышесказанного следует, что сортовое разнообразие оказывает слабое влияние на структуру микробиоценоза, бактериальные сообщества, которые, несмотря на разницу в химическом составе образцов при одинаковых климатических условиях остаются схожими на уровне родов. Имеющиеся результаты авторов (Na N et al., 2022; Lin J et al., 2023) также подтверждают преобладание в микробиоте люцерны нежелательных микроорганизмов.

Численность и структура представителей микрофлоры, по словам Lin C с соавторами (1992), динамична в зависимости от вегетационного периода созревания люцерны. Авторы сообщают, что общее число молочнокислых бактерий – *Lactobacillus, Pediococci* и *Leuconostoes* увеличивалось с наступлением фазы зрелости люцерны до 10 % цветения, а затем уменьшалось (рис. 1).

На рисунке 1 показано, что численность молочнокислых бактерий и *Enterobacteriaceae* при созревании люцерны снижается. Однако никаких статистически значимых изменений автором отмечено не было. Эти данные согласуются с более поздними результатами зарубежных исследований (Drouin P et al., 2022). В ходе вегетационного периода (май-октябрь) в эпифитной микробиоте люцерны отмечалась выраженная динамическая изменчивость. Максимальное содержание молочнокислых бактерий (*Lactobacillaceae*) наблюдалось в конце мая и составило около 54 %, после чего их доля снижалась к окончанию вегетации до 1 %.

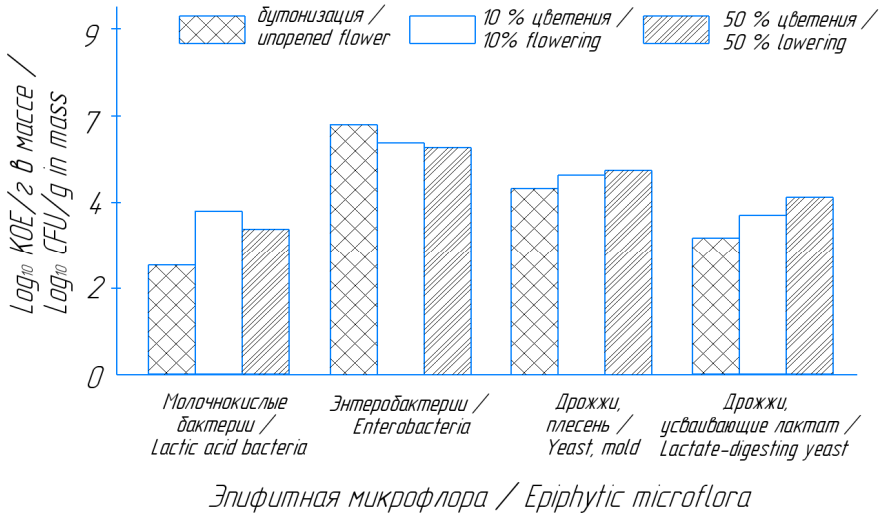

Рисунок 1. **Влияние стадии вегетации люцерны на эпифитную микрофлору (Lin C et al., 1992)**
Figure 1. **The influence of the vegetation stage of alfalfa on epiphytic microflora (Lin C et al., 1992)**

Относительно *Enterobacteriaceae* Pahlow G (1991) в своих исследованиях отмечал обратную тенденцию: эта группа микроорганизмов более многочисленна при позднем, чем при раннем скашивании травы, а дрожжи – наоборот.

В свою очередь Kroulik JT с коллегами (1955) также указывают на возрастание численности энтеробактерий до 80 % от общего количества микроорганизмов в период активного роста (июнь-сентябрь), что означает высокий уровень нежелательной микрофлоры. Популяция дрожжей (*Saccharomycetaceae*) оставалась на крайне низком уровне (<1 %), тогда как среди грибов доминировали представители семейства *Pleosporaceae* (*Alternarie spp*.), составлявшие около 40 % грибной популяции в конце вегетационного периода.

Следовательно, в процессе вегетации структура микробного сообщества люцерны изменялась от преобладания на ранних стадиях роста молочнокислых бактерий до доминирования на поздних стадиях энтеробактерий и плесневелых грибов. Это свидетельствует о неустойчивости естественной эпифитной микрофлоры люцерны и необходимости регулирования микробного разнообразия с помощью целевых технологических подходов, направленных на оптимизацию процессов ферментации и повышение стабильности корма.

Чтобы определить, влияет ли местопроизрастание на микробиологическое разнообразие и насколько, китайские ученые (Wu M et al., 2021) изучили разнообразие эпифитных бактерий на люцерне, убранной в разных городах: Хэншуй (холодный, полузасушливый климат) и Синтай (континентальный, засушливый) провинция Хэбэй (Китай). На уровне филума доминирующими группами были *Proteobacteria* (70 %), *Firmicutes* (13 %), *Actinobacteria* (9 %) и *Bacteroidetes* (7 %). Доминирующими родами были *Pseudomonas* (8 %), *Acinetobacter* (4 %), *Chryseobacterium* (3 %) и *Hymenobacter* (1 %). Наиболее распространенными бактериями были *Enterobacteriaceae* (24 %). Авторы указывают, что разнообразие эпифитных микробных сообществ существенно зависело от вида растений: на люцерне микробиологическое разнообразие было шире, чем на кукурузе. При этом географический фактор не показал значимых различий в составе микробиоты. Они утверждают, что в формировании эпифитного бактериального сообщества вид растения играет более важную роль, чем условия региона. Слабое региональное влияние на этот показатель, возможно, связано со схожими климатическими условиями.

Значительное влияние факторов окружающей среды на микробиоту люцерны установлено в результатах более поздних исследований (Wu B et al., 2023). Авторы изучали как меняется микробиологическое разнообразие эпифитной микрофлоры люцерны, выращиваемой в 12

хозяйствах из четырёх регионов Внутренней Монголии (Китай) с различным климатом: холодным и влажным, теплым и влажным, холодным и сухим, теплым и сухим. Общее количество микроорганизмов до силосования составило от 10^2 до 10^8 КОЕ/г, с различными бактериями (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Acetobacter*) и другими микроорганизмами (*Aspergillus*, *Filobasidium*, *Neurospora*) на уровне рода. Большинство микробов вызывают деградацию питательных веществ в силосе; при этом соотношение вредных и полезных микробов приближается к 10:1. Результаты показали, что в холодных и дождливых условиях отмечено снижение содержания молочнокислых бактерий до уровня порядка $1{,}3x10^4$-$1{,}6x10^5$ КОЕ/г при одновременном увеличении доли дрожжей и энтеробактерий, что указывает на замедленное развитие полезной микрофлоры и повышенный риск нежелательных видов ферментации. В теплых и влажных регионах наблюдалось более активное развитие молочнокислых бактерий (их численность достигала $5{,}0x10^5$-$1{,}6x10^6$ КОЕ/г), сопровождающееся умеренным ростом дрожжей и снижением численности энтеробактерий. Наиболее благоприятный микробиологический профиль установлен в теплых сухих зонах, где концентрация молочнокислых бактерий составляла $1{,}3x10^6$ КОЕ/г при минимальной численности клостридий и дрожжей, что создает оптимальные предпосылки для развития молочнокислого брожения.

Эти данные в большей степени согласуются с результатами других исследований (Zhou H et al., 2024). Авторы также указывают на значительную региональную зависимость от различных климатических условий. Были отобраны образцы наземной части люцерны из шести основных зон её возделывания в Китае: Цанчжоу (провинция Хэбэй), Датун (Шаньси), Харбин (Хэйлунцзян), Тунляо (Внутренняя Монголия), Шуочжоу (Шаньси), Чжочжоу (Хэбэй) для анализа эпифитной (поверхностной) и эндофитной (внутритканевой) микрофлоры. С помощью секвенирования гена 16S рРНК авторы установили три доминирующих типа *Pseudomonadota*, *Bacillota* и *Actinomycetota*, которые составляли 46,54; 32,08 и 20,50 % от общего числа бактерий соответственно, характерных как для эпифитов, так и для эндофитов. Всего было идентифицировано 149 видов; из 57 родов эндофитов доминирующими родами были *Bacillus* (20,79 %), *Pseudomonas* (19,55 %), *Curtobacterium* (5,45 %) и *Microbacterium* (5,45 %). Среди эпифитов преобладали 136 видов из 57 родов: наиболее многочисленные из них *Pseudomonas* (19,44 %), *Microbacterium* (8,18 %), *Pantoea* (7,93 %), *Enterococcus* (7,67 %), *Exiguobacterium* (7,67 %) и *Curtobacterium* (5,12 %). Авторы указывают на региональную специфичность преобладания тех или иных бактерий, ассоциированную с климатическим влиянием (табл. 1).

Таблица 1. **Зависимость эпифитной микрофлоры от региона возделывания люцерны (составлена на основании данных Zhou H et al., 2024)**
Table 1. **Dependence of epiphytic microflora on the region of alfalfa cultivation (compiled based on data from Zhou H et al., 2024)**

Регион Китая / *Region of China*	**Климатические условия региона / *Climatic conditions of the region***	**Доминирующие эпифитные роды / *Dominant epiphytic genera***
Цанчжоу (провинция Хэбэй) / *Cangzhou (Hebei Province)*	Влажный умеренно-континентальный климат / *Humid temperate continental climate*	*Pantoea*, *Kosakonia*, *Pseudomonas*
Датун (Шаньси) / *Datong (Shanxi)*	Континентальный сухой климат, высокогорье / *Continental dry climate, highlands*	*Bacillus*, *Pantoea*, *Curtobacterium*
Харбин (Хэйлунцзян) / *Harbin (Heilongjiang)*	Холодный умеренно-влажный климат / *Cold, moderately humid climate*	*Curtobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*
Тунляо (Внутренняя Монголия) / *Tongliao (Inner Mongolia)*	Засушливый степной климат / *Arid steppe climate*	*Kosakonia*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*
Шуочжоу (Шаньси) / *Shuozhou (Shanxi)*	Сухой континентальный климат / *Dry continental climate*	*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*
Чжочжоу (Хэбэй) / *Zhuozhou (Hebei)*	Умеренно влажный климат, низменность / *Moderately humid climate, lowland*	*Pantoea*, *Enterobacter*, *Sphingomonas*

Из таблицы 1 видно, что среди эндофитных микроорганизмов доминирование рода *Bacillus* наблюдалось преимущественно в образцах из Датуна, Шочжоу и Чжочжоу, *Curtobacterium* – в основном в Харбине, а *Microbacterium* – в Цанчжоу. В эпифитной микрофлоре род *Microbacterium* преобладал в Цанчжоу, Харбине, Тунляо и Шочжоу, *Pantoea* – в Тунляо и Шочжоу, а *Enterococcus* – в Тунляо, Датуне и Чжочжоу. При этом у представителей рода *Pseudomonas* не выявлено выраженных региональных различий ни в эндофитной, ни и в эпифитной микробиоте.

Авторы отмечают, что разнообразие эпифитных бактерий значительно варьировало по регионам, отражая влияние климатических факторов. При этом популяции четко разделены по географическим зонам, указывая на различия между северными (Харбин, Тунляо) и южными (Цанчжоу, Чжочжоу) регионами, которые были статистически значимыми.

На влияние погодных условий указывают и другие авторы. По данным исследований (Бондарев В.А. и др., 2016), количество эпифитных молочнокислых бактерий увеличивается с ростом температуры. Поэтому количество лактобактерий в Северной Европе часто больше на люцерне второго и третьего укосов, когда температура достигает максимума (Pahlow G et al., 2003; Broberg A et al., 2007; Comino L et al., 2014).

Следовательно, как эпифитная, так и эндофитная микрофлора люцерны в условиях Китая характеризуется географической и климатической неоднородностью: в северных и засушливых регионах преобладают устойчивые к стрессу аэробные и спорообразующие бактерии (*Bacillus***,** *Arthrobacter***,** *Curtobacterium), тогда как во влажных и умеренных зонах доминируют представители энтеробактерий* (*Pantoea***,** *Enterobacter*, *Kosakonia*). Эти различия определяют исходный микробный потенциал растения, влияя на характер дальнейшей ферментации при силосовании, который нужно учитывать при выборе технологии и режимов заготовки кормов.

Заключение.

Проведенный анализ накопленного опыта свидетельствует о высокой динамичности и неоднородности эпифитной микрофлоры люцерны, определяемой как биологическими особенностями культуры (низкое содержание ВРУ, высокая буферная емкость, низкий коэффициент сбраживаемости), так и внешними факторами: фазой вегетации, климатическими условиями. Преобладание нежелательных микроорганизмов (энтеробактерий, дрожжей, плесневелых грибов) и недостаточная численность молочнокислых бактерий делают спонтанное силосование люцерны маловероятным. Полученные данные подтверждают необходимость целенаправленного регулирования микробиоценоза при силосовании бобовых трав. Это достигается применением адаптивных технологий: оптимизацией сроков уборки культуры – в момент бутонизации при 10 % цветения у люцерны повышается содержание молочнокислых бактерий и снижается количество энтеробактерий; степенью провяливания – при содержании СВ до 30-35 % повышается содержание ВРУ; герметизацией и внесением консервирующих препаратов. Как показывают результаты наших исследований (Косолапова Е.В. и др., 2024), хороший консервирующий эффект оказывает комбинированное консервирование, предполагающее внесении химического консерванта, на основе органических кислот в дозе 1,5-3 л/т, например, Текацида (ООО «ТекноФид», Россия), и бактериального препарата, представляющего комбинированный иннокулянт, содержащий гомоферментативные МКБ, например, *Lactiplantibacillus plantarum* (>10^6 КОЕ/г) и гетероферментативные, например, *Lentilactobacillus buchneri,* в случае необходимости повышения аэробной стабильности при выемке. Внесение бактериального препарата позволяет быстро увеличить численность МКБ и достичь стабилизации популяции в более короткие сроки, что благоприятно отражается на образовании молочной кислоты и стабилизации pH. Органические кислоты оказывают подкисляющее бактерицидное и фунгицидное действие на первой стадии силосования, что очень важно для подавления жизнедеятельности нежелательной микрофлоры и максимального сохранения ВРУ, уровень которых в люцерне и так невысок. Такой подход позволяет минимизировать потери питательных веществ, подавить

развитие нежелательной микрофлоры и обеспечить качество консервированного корма, соответствующее требованиям современного кормопроизводства.

Список источников

1. Абдуллаева Н.Ф., Тагизаде З.А., Мустафаева Р.С. Микробиологические и биохимические характеристики молочнокислых бактерий и области их применения (обзор) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 3-3. С. 31-35. [Abdullaeva NF, Tagizade ZA, Mustafaeva RS. Mikrobiologicheskie i biokhimicheskie kharakteristiki molochnokislikh bakterii i oblasti ikh primeneniya (obzor). Aktualnie problemi gumanitarnikh i yestestvennikh nauk. 2017;3(3):31-35. (*In Russ.*)].

2. Ахмадышин Р.А., Канарский А.В., Канарская З.А. Микотоксины – контаминанты кормов // Вестник Казанского технологического университета. 2007. № 2. С. 88-103. [Akhmadishin RA, Kanarskii AV, Kanarskaya ZA. Mikotoksini – kontaminanti kormov. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2007;(2):88-103. (*In Russ*.)].

3. Войцеховская М.С., Котова Ю.С. Зависимость роста и размножения условно патогенных плесневых грибов от воздействия факторов окружающей среды // Юный ученый. 2024. № 3 (77). С. 96-100. [Voitsekhovskaya MS, Kotova YuS. Zavisimost rosta i razmnozheniya uslovno patogennikh plesnevikh gribov ot vozdeistviya faktorov okruzhayushchei sredi. Yunii uchyonii. 2024;(3):96-100. (*In Russ.*)].

4. Ганущенко О. Консервирование многолетних бобовых культур// Животноводство России. 2020. № 5. С. 45-50. [Ganushchenko O. Preservation of perennial legume herbs. Zhivotnovodstvo Rossii. 2020;5:45-50. (*In Russ*.)]. doi: 10.25701/ZZR.2020.80.94.018

5. Зубрилин А.А. Консервирование зеленых кормов. М.: Сельхозгиз, 1938. 200 с. [Zubrilin AA. Konservirovanie zelenikh kormov. Moscow: Selkhozgiz; 1938:200 p. (*In Russ.*)].

6. Каарли Л.И., Лемминг Э.Я. Влияние азотных удобрений на динамику микробиологических и биохимических процессов при силосовании злаковых трав // Сборник материалов XII Международного конгресса по луговодству (11-20 июня 1974 г., г. Москва). М.: Колос, 1977. Т. 2. С. 240-242. [Kaarli LI, Lemming EYa. Effect of nitrogen fertilizers on microbiological and biochemical processes during ensiling of grasses. In: Proceedings of the XII International Grassland Congress (June 11-20, 1974, Moscow). Moscow: Kolos; 1977;2:240-242. (*In Russ*.)].

7. Квасников Е.И., Нестеренко О.А. Молочнокислые бактерии и пути их использования. М.: Наука. 1975. 389 с. [Kvasnikov EI, Nesterenko OA. Molochnokislie bakterii i puti ikh ispolzovaniya. Moscow: Nauka; 1975:389 p. (*In Russ*.)].

8. Косолапова Е.В., Кучин Н.Н., Косолапов В.В. Силосование: современные подходы к консервированию трудносилосуемых растений: монография. М.: ИНФРА-М, 2024. 216 с. [Kosolapova EV, Kuchin NN, Kosolapov VV. Silage: modern approaches to the conservation of hard-to-harvest plants: monografiya. Moscow: INFRA-M; 2024:216 p. (*In Russ*.)]. doi: 10.12737/2061201

9. Метагеномные профили бактериальных сообществ поверхности растений и силоса / Е.А. Йылдырым, Г.Ю. Лаптев, Л.А. Ильина и др. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 4(73). С. 89-97. [Yildirim EA, Laptev GY, Ilyina LA, et al. Metagenomic profiles of bacterial communities of plant surfaces and in silage. Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;4(73):89-97. (*In Russ*.)]. doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-89-97

10.Победнов Ю.А. Иванова М.С., Мамаев А.А. Динамика аммиака и масляной кислоты в зависимости от степени провяливания и способа силосования люцерны // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 41-46. [Pobednov YuA, Ivanova MS, Mamaev AA. Dynamics of alfalfa ammonia and butanoic acid as affected by air-drying and silage method. Kormoproizvodstvo. 2019;4:41-46. (*In Russ*.)].

11.Победнов Ю.А. Исторический обзор развития силосования // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. науч. тр. Лобня: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 2021. № 25(73). С. 119-143. [Pobednov YA. Historical overview of the development of ensilage. Multifunctional adaptive fod-

der production: sb. nauch. tr. Lobnya: VNII kormov im. V.R. Vilyamsa. 2021;25(73):119-143. (*In Russ*.)]. doi: 10.33814/MAK-2021-25-73-119-143

12.Попов В.С., Самбуров Н.В., Воробьёва Н.В. Проблемы микотоксикозов в современных условиях и принципы профилактических решений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 101-105. [Popov VS, Samburov NV, Vorobyeva NV. The problems of mycotoxicosis in modern conditions and principles of preventive solutions. Vestnik of the Kursk State Agricultural Academy. 2018;3:101-105. (*In Russ*.)].

13.Приготовление силоса и сенажа с применением отечественных биологических препаратов / В.А. Бондарев, В.М. Косолапов, В.П. Клименко, А.Н. Кричевский. М.: Угрешская типография. 2016. 212 с. [Bondarev VA, Kosolapov VM, Klimenko VP, Krichevskiy AN. Prigotovlenie silosa i senazha s primeneniem otechestvennikh biologicheskikh preparatov. Moscow: Ugreshskaya tipografiya; 2016:212 p. (*In Russ*.)].

14. Силосование люцерны с препаратами молочнокислых бактерий / Ю.А. Победнов, А.А. Мамаев, М.С. Иванова, К.Е. Юртаева // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 213-220. [Pobednov YuA, Mamaev AA, Ivanova MS, Yurtaeva KE. Alfalfa silage with lactic acid bacteria preparations. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):213-220. (*In Russ*.)].

15.Смирнов В.А. Пищевые кислоты (лимонная, молочная, винная). М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 264 с. [Smirnov VA. Pishchevie kisloti (limonnaya, molochnaya, vinnaya). Moscow: Legkaya i Pischevaya Promyshlennost; 1983:264 p. (*In Russ*.)].

16.Стоянова Л.Г., Устюгова Е.А., Нетрусов А.И. Антимикробные метаболиты молочнокислых бактерий: разнообразие и свойства (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2012. Т. 48. № 3. С. 259. [Stoyanova LG, Ustyugova EA, Netrusov AI. Antibacterial metabolites of lactic acid bacteria: the diversity and properties (review). Applied Biochemistry and Microbiology. 2012;48(3):259-273. (*In Russ*.)].

17. Сэнтин Э. Рост плесневых грибов и продуцирование микотоксинов // Европейский семинар по микотоксинам. Оценка воздействия микотоксинов в Европе. Европейский лекционный тур, 7 февраля-5 марта. 2005. С. 27-42. [Sentin E. Mold fungi growth and mycotoxin production. European Seminar on Mycotoxins. Assessment of Mycotoxin Impact in Europe. European Lecture Tour, February 7-March 5. 2005:27-42. (*In Russ*.)].

18.Хамираев У.К., Камилов Ш.Г. Грибные болезни люцерны в ташкентской области (Узбекистан) // Бюллетень науки и практики. 2022. № 8 (11). С. 228-234. [Hamiraev UK, Kamilov ShG. Fungal diseases of medicago sativa in the Tashkent region (Uzbekistan). Bulletin of Science and Practice. 2022;8(11):228-234. (*In Russ*.)]. doi: 10.33619/2414-2948/84/30

19.Шурхно Р.А. Микробиологический препарат на основе гомоферментативных штаммов Lactobacillus plantarum, выделенных из природных источников для биоконсервирования растительных ресурсов (обзор проведенных исследований в период с 2000 по 2015 г.) // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 158 (1). С. 5-22. [Shurkhno RA. A microbiological preparation based on the homofermentative strains of Lactobacillus plantarum isolated from the natural sources for biopreservation of plant resources (review of studies between 2000 and 2015). Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2016;158(1):5-22. (*In Russ*.)].

20.Ávila CLS, Carvalho BF. Silage fermentation-Updates focusing on the performance of microorganisms. Journal of Applied Microbiology. 2020;128(4):966-984. doi: 10.1111/jam.14450

21.Baah J, McAllister TA, Bos L, Van Herk F, Charley RC. Effect of Lactobacillus buchneri 40788 and buffered propionic acid on preservation and nutritive value of alfalfa and timothy high-moisture hay. Asian-Autralas J Anim Sci. 2005;18(5):649-60. doi: 10.5713/ajas.2005.649

22.Ben-Dov E, Shapiro OH, Siboni N, Kushmaro A. Advantage of using inosine at the 3′termini of 16S rRNA gene universal primers for the study of microbial diversity. Appl Environ Microbiol. 2006;72(11):6902-6906. doi: 10.1128/AEM.00849-06

23.Broberg A, Jacobsson K, Ström K, Schnürer J. Metabolite profiles of lactic acid bacteria in grass silage. Applied and Environmental Microbiology. 2007;73(17):5547-5552. doi: 10.1128/AEM.02939-06

24.Carrizo NI, Carabajal Torrez JA, Molina FRE, Fornaguera MJ, Martos GI, Bustos AY, Gerez CL. Selection and performance of antifungal lactic acid bacteria in corn mini-silos. Arabian Journal for Science and Engineering. 2022;47(1):119-130. doi: 10.1007/s13369-021-05511-z

25.Comino L, Tabacco E, Righi F, Revello-Chion A, Quarantelli A, Borreani G. Effects of an inoculant containing a Lactobacillus buchneri that produces ferulate-esterase on fermentation products, aerobic stability, and fibre digestibility of maize silage harvested at different stages of maturity. Anim Feed Sci Technol. 2014;198:94-106. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.10.001

26. Dalié DKD, Deschamps AM, Richard-Forget F. Lactic acid bacteria–Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review. Food Control. 2010;21(4):370-380. doi: 10.1016/j.foodcont.2009.07.011

27.De Vuyst L, Leroy F. Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification and food applications. J. Molecular Microbiology and Biotechnology. 2007;13(4):194-199. doi: 10.1159/000104752

28.Driehuis F. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. Agricultural and food science. 2013;22(1):16-34. doi: 10.23986/afsci.6699

29.Drouin P, Tremblay J, da Silva ÉB, Apper E. Changes to the microbiome of alfalfa during the growing season and after ensiling with Lentilactobacillus buchneri and Lentilactobacillus hilgardii inoculant. Journal of Applied Microbiology. 2022;133(4):2331-2347. doi: 10.1111/jam.15641

30.Duniere L, Xu S, Long J, Elekwachi C, Wang Y, Turkington K, Forster R, McAllister TA. Bacterial and fungal core microbiomes associated with small grain silages during ensiling and aerobic spoilage. BMC Microbiol. 2017;17(1):50. doi: 10.1186/s12866-017-0947-0

31.Fabiszewska AU, Zielińska KJ, Wróbel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview. World J Microbiol Biotechnol. 2019;35(3):76. doi: 10.1007/s11274-019-2649-2

32.Filya I, Sucu E. The effect of bacterial inoculants and a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of whole-crop cereal silages. Asian-Australas J Anim Sci. 2007;20(3):378-384. doi: 10.5713/ajas.2007.378

33.Gao Z, Daliri EBM, Wang J, Liu D, Chen S, Ye X, Ding T. Inhibitory effect of lactic acid bacteria on foodborne pathogens: a review. J Food Prot. 2019;82(3):441-453. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-18-303

34.Gharechahi J, Kharazian ZA, Sarikhan S, Jouzani GS, Aghdasi M, Salekdeh GH. The dynamics of the bacterial communities developed in maize silage. Microb Biotechnol. 2017;10(6):1663-1676. doi: 10.1111/1751-7915.12751

35.Gollop N, Zakin V, Weinberg ZG. Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. J Appl Microbiol. 2005;98(3):662-666. doi: 10.1111/j.1365-2672.2004.02504.x

36.Hu Z, Niu H, Tong Q, Chang J, Yu J, Li S, Zhang S, Ma D. The microbiota dynamics of alfalfa silage during ensiling and after air exposure, and the metabolomics after air exposure are affected by Lactobacillus casei and cellulase addition. Front Microbiol. 2020;11:519121. doi: 10.3389/fmicb.2020.519121

37. Kim D, Lee KD, Choi KC. Role of LAB in silage fermentation: Effect on nutritional quality and organic acid production-An overview. AIMS Agriculture & Food. 2021;6(1):216-234. doi: 10.3934/agrfood.2021014

38.Kroulik JT et al. Microbial activities in alfalfa and orchard grass ensiled under certain conditions in experimental silos. Journal of Dairy Science. 1955.38(3):263-272.

39.Li DongXia LD, Wang YanPing WY, Zhang YingChao ZY, Lin YanLi LY, Yang FuYu YF. Evaluation of lactic acid bacteria isolated from alfalfa for silage fermentation. Grassland Science. 2018;64(3):190-198. doi: 10.1111/grs.12198

40.Lin C, Bolsen KK, Brent BE, Hart RA, Dickerson JT, Feyerherm AM, Aimutis WR. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn. Journal of Dairy Science. 1992;75(9):2484-2493. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)78010-2

41.Lin J, Li G, Sun L, Wang S, Meng X, Sun L, Xu L. Varieties and ensiling: Impact on chemical composition, fermentation quality and bacterial community of alfalfa. Frontiers in Microbiology. 2023;13(1):1091491. doi: 10.3389/fmicb.2022.1091491

42.Lindgren S, Pettersson K, Jonsson A, Lingvall P, Kaspersson A. Silage inoculation. Selected strains, temperature, wilting and practical application. Swedish Journal of Agricultural Research 1985;15(1):9-18.

43.Liu M, Zhao L, Gong G, Zhang L, Shi L, Dai J, Sun L. Invited review: Remediation strategies for mycotoxin control in feed. J Animal Sci Biotechnol. 2022;13(1):19. doi: 10.1186/s40104-021-00661-4

44.McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. 2nd ed. Kingston, Kent: Chalcombe Publications; 1991: 340 p.

45.Muck RE. Recent advances in silage microbiology. Agricultural and Food Science. 2013;22(1):3-15. doi: 10.23986/afsci.6718

46.Na N, Qili M, Wu N, Sun L, Xu H, Zhao Y, Tao Y. Bacterial community and fermentation quality of ensiling alfalfa with commercial lactic acid bacterial additives. Frontiers in Microbiology. 2022;13(4):836899. doi: 10.3389/fmicb.2022.836899

47.Neves AR, Pool WA, Kok J, Kuipers OP, Santos H. Overview on sugar metabolism and its control in Lactococcus lactis-the input from in vivo NMR. FEMS microbiology reviews. 2005;29(3):531-554. doi: 10.1016/j.fmrre.2005.04.005

48.O'Brien M, Nielsen KF, O'Kiely P, Forristal PD, Fuller HT, Frisvad JC. Mycotoxins and other secondary metabolites produced in vitro by Penicillium paneum Frisvad and Penicillium roqueforti Thom isolated from baled grass silage in Ireland. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006;54(24):9268-9276. doi: 10.1021/jf0621018

49.Östling C, Lindgren S. Influences of enterobacteria on the fermentation and aerobic stability of grass silages. Grass and Forage Science. 1995;50(1):41-47. doi: 10.1111/j.1365-2494.1995.tb02292.x

50.Pahlow G, Muck RE, Driehuis F, Elferink SJO, Spoelstra SF. Microbiology of ensiling. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH, editors. Silage science and technology. USA, Medison, Wisconsin. 2003;42(1):31-93. doi: 10.2134/agronmonogr42.c2

51.Pahlow G. Grundlagen der Bereitung von Qualitätssilage. In Schumann-Workshop Milchvieh-futterung. Mai in Bad Segeberg, 1993;18:5-23.

52.Pahlow G. Role of microflora in forage conservation. In: Pahlow G, Honig H, editors. Forage Conservation Towards 2000. Inst. Grassl. Forage Res., Braunschweig, Germany; 1991:26-36.

53.Pedroso AF, Nussio LG, Paziani SF, Loures RDS, Igarasi MS, Coelho RM, et al. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. Sci Agric. 2005;62(5):427-432. doi: 10.1590/S0103-90162005000500003

54.Punia Bangar S, Suri S, Trif M, Ozogul F. Organic acids production from lactic acid bacteria: a preservation approach. Food Biosci. 2022;46(4):101615. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101615

55.Richard E, Heutte N, Sage L, Pottier D, Bouchart V, Lebailly P. Garon D. Toxigen-ic fungi and mycotoxins in mature corn silage. Food Chem Toxicol. 2007;45(12):2420-2425. doi: 10.1016/j.fct.2007.06.018

56.Salminen S. Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects. 2 Ed. New York: Marcel Dekker Inc. 1998:617 p.

57.Sanchez-Torres P. Emerging alternatives to control fungal contamination. Current Opinion in Food Science. 2024;61:101255. doi: 10.1016/j.cofs.2024.101255

58.Schnurer J, Magnusson J. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. Trends Food Sci. Technol. 2005;16(1-3):70-78. doi: 10.1016/j.tifs.2004.02.014

59.Shang ZD, Tan ZK, Li JK, Zhuo G, Li F, Wang HH, Xie GP, Liu SZ. Effects of different planting seasons on the fermentation quality and microbial diversity of corn silage in Tibet. Acta Agrestia Sin. 2019;27(2):488-496.

60.Slanetz LW, Bartley CH. Numbers of enterococci in water, sewage, and feces determined by the membrane filter technique with an improved medium. Journal of bacteriology. 1957;74(5):591-595. doi: 10.1128/jb.74.5.591-595.1957

61.Tao L, Guo XS, Zhou H, Undersander DJ, Nandety A. Characteristics of proteolytic activities of endo-and exopeptidases in alfalfa herbage and their implications for proteolysis in silage. Journal of Dairy Science. 2012; 95(8):4591-4595. doi: 10.3168/jds.2012-5383

62.Visser MMM, Driehuis F, Te Giffel MC, De Jong P, Lankveld JMG. Concentration of butyric acid bacteria spores in silage and relationship with aerobic deterioration. J Dairy Sci. 2007;90(2):928-36. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71576-X

63.Wang Y, Wu J, Lv M, Shao Z, Hungwe M, Wang J, Geng W. Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. Front Bioeng Biotechnol. 2021;9:612285. doi: 10.3389/fbioe.2021.612285

64.Wee YJ, Kim JN, Ryu HW. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. Food Technology and Biotechnology. 2006;44(2):163-172.

65.Weissbach F. New Developments in Crop Conservation. Proceedihgs of the 11 th international silage Conference. 8-11 September, 1996, Aberystwyth. 1996:11-25.

66.Wróbel B, Nowak J, Fabiszewska A, Paszkiewicz-Jasińska A, Przystupa W. Dry matter losses in silages resulting from epiphytic microbiota activity-A comprehensive study. Agronomy. 2023;13(2):450. doi: 10.3390/agronomy13020450

67.Wu B, Sui H, Qin W, Hu Z, Wei M, Yong M, Wang C, Niu H. Microbial Community and Fermentation Quality of Alfalfa Silage Stored in Farm Bunker Silos in Inner Mongolia, China. Fermentation. 2023;9(5):455. doi: 10.3390/fermentation9050455

68.Wu M, Wang Y, Wang Y et al. Study on the diversity of epiphytic bacteria on corn and alfalfa using Illumina MiSeq/NovaSeq high-throughput sequencing system. Ann Microbiol. 2021;71(1):38. doi: 10.1186/s13213-021-01649-1

69.Zhang JG, Cai Y, Kobayashi R, Kumai S. Characteristics of lactic acid bacteria isolated from forage crops and their effects on silage fermentation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000;80(10):1455-1460. doi: 10.1002/1097-0010(200008)80:10<1455::AID-JSFA667>3.0.CO;2-C

70.Zheng J, Wittouck S, Salvetti E, Franz CM, Harris HM, Mattarelli P, Lebeer S. A taxonomic note on the genus Lactobacillus: Description of 23 novel genera, emended description of the genus Lactobacillus Beijerinck 1901, and union of Lactobacillaceae and Leuconostocaceae. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2020;70(4):2782-2858. doi: 10.1099/ijsem.0.004107

71.Zheng M, Niu D, Zuo S, Mao P, Meng L, Xu C. The effect of cultivar, wilting and storage period on fermentation and the clostridial community of alfalfa silage. Italian Journal of Animal Science. 2018;17(2):336-346. doi: 10.1080/1828051X.2017.1364984

72.Zhou H, Jia S, Gao Y, Li X, Lin Y, Yang F, Ni K. Characterization of phyllosphere endophytic lactic acid bacteria reveals a potential novel route to enhance silage fermentation quality. Commun Biol. 2024;7(1):117. doi: 10.1038/s42003-024-05816-3

73.Zielke J, Pieper B. Characterisation of different yeast species from corn silage and their ability to degrade lactate. Proceedings of the XVIII International Silage Conference. 24-26 July 2018, Bonn, Germany. 2018:128-129.

References

1. Abdullaeva NF, Tagizade ZA, Mustafaeva RS. Microbiological and biochemical characteristics of lactic acid bacteria and their areas of application (review). Current Problems of the Humanities and Natural Sciences. 2017;3(3):31-35.

2. Akhmadishin RA, Kanarskii AV, Kanarskaya ZA. Mycotoxins – feed contaminants. Bulletin of Kazan Technological University. 2007;(2):88-103.

3. Voitsekhovskaya MS, Kotova YuS. Dependence of the growth and reproduction of opportunistic mold fungi on the impact of environmental factors. Young Scientist. 2024;(3):96-100.

4. Ganushchenko O. Preservation of perennial legume crops. Animal Husbandry of Russia. 2020;5:45-50. doi: 10.25701/ZZR.2020.80.94.018

5. Zubrilin AA. Preservation of green fodder. Moscow: Selkhozgiz; 1938: 200 p.

6. Kaarli LI, Lemming EYa. Effect of nitrogen fertilizers on microbiological and biochemical processes during ensiling of grasses. In: Proceedings of the XII International Grassland Congress (June 11-20, 1974, Moscow). Moscow: Kolos; 1977;2:240-242.

7. Kvasnikov EI, Nesterenko OA. Lactic acid bacteria and ways of their use. Moscow: Science; 1975:389 p.

8. Kosolapova EV, Kuchin NN, Kosolapov VV. Silage: modern approaches to the conservation of hard-to-harvest plants: monograph. Moscow: INFRA-M; 2024: 216 p. doi: 10.12737/2061201

9. Yildirim EA, Laptev GY, Ilyina LA, et al. Metagenomic profiles of bacterial communities of plant surfaces and in silage. Bulletin of the Saint Petersburg State Agrarian University. 2023;4(73):89-97. doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-89-97

10. Pobednov YuA, Ivanova MS, Mamaev AA. Dynamics of ammonia and butanoic acid as affected by air-drying and silage method of alfalfa. Forage Production. 2019;4:41-46.

11. Pobednov YA. Historical overview of the development of ensilage. Multifunctional adaptive forage production: collection of scientific papers. Lobnya: Research Institite of Fodders named afetr V.R. Williams. 2021;25(73):119-143. doi: 10.33814/MAK-2021-25-73-119-143

12. Popov VS, Samburov NV, Vorobyeva NV. The problems of mycotoxicosis in modern conditions and principles of preventive solutions. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2018;3:101-105.

13. Bondarev VA, Kosolapov VM, Klimenko VP, Krichevskiy AN. Preparation of silage and haylage using domestic biological preparations. Moscow: Ugreshskaya publishing house; 2016: 212 p.

14. Pobednov YuA, Mamaev AA, Ivanova MS, Yurtaeva KE. Alfalfa silage with lactic acid bacteria preparations. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):213-220.

15. Smirnov VA. Food acids (citric, lactic, tartaric).Moscow: Light and Food industry; 1983: 264 p.

16. Stoyanova LG, Ustyugova EA, Netrusov AI. Antibacterial metabolites of lactic acid bacteria: the diversity and properties (review). Applied Biochemistry and Microbiology. 2012;48(3):259-273.

17. Sentin E. Mold fungi growth and mycotoxin production. European Seminar on Mycotoxins. Assessment of Mycotoxin Impact in Europe. European Lecture Tour, February 7 – March 5. 2005:27-42.

18. Hamiraev UK, Kamilov ShG. Fungal diseases of medicago sativa in the Tashkent region (Uzbekistan). Bulletin of Science and Practice. 2022;8(11):228-234. doi: 10.33619/2414-2948/84/30

19. Shurkhno RA. A microbiological preparation based on the homofermentative strains of Lactobacillus plantarum isolated from the natural sources for biopreservation of plant resources (review of studies between 2000 and 2015). Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2016;158(1):5-22.

20. Ávila CLS, Carvalho BF. Silage fermentation-Updates focusing on the performance of microorganisms. Journal of Applied Microbiology. 2020;128(4):966-984. doi: 10.1111/jam.14450

21. Baah J, McAllister TA, Bos L, Van Herk F, Charley RC. Effect of Lactobacillus buchneri 40788 and buffered propionic acid on preservation and nutritive value of alfalfa and timothy high-moisture hay. Asian-Autralas J Anim Sci. 2005;18(5):649-60. doi: 10.5713/ajas.2005.649

22. Ben-Dov E, Shapiro OH, Siboni N, Kushmaro A. Advantage of using inosine at the 3′termini of 16S rRNA gene universal primers for the study of microbial diversity. Appl Environ Microbiol. 2006;72(11):6902-6906. doi: 10.1128/AEM.00849-06

23. Broberg A, Jacobsson K, Ström K, Schnürer J. Metabolite profiles of lactic acid bacteria in grass silage. Applied and Environmental Microbiology. 2007;73(17):5547-5552. doi: 10.1128/AEM.02939-06

24. Carrizo NI, Carabajal Torrez JA, Molina FRE, Fornaguera MJ, Martos GI, Bustos AY, Gerez CL. Selection and performance of antifungal lactic acid bacteria in corn mini-silos. Arabian Journal for Science and Engineering. 2022;47(1):119-130. doi: 10.1007/s13369-021-05511-z

25. Comino L, Tabacco E, Righi F, Revello-Chion A, Quarantelli A, Borreani G. Effects of an inoculant containing a Lactobacillus buchneri that produces ferulate-esterase on fermentation products, aerobic stability, and fibre digestibility of maize silage harvested at different stages of maturity. Anim Feed Sci Technol. 2014;198:94-106. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.10.001

26. Dalié DKD, Deschamps AM, Richard-Forget F. Lactic acid bacteria–Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review. Food Control. 2010;21(4):370-380. doi: 10.1016/j.foodcont.2009.07.011

27. De Vuyst L, Leroy F. Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification and food applications. J. Molecular Microbiology and Biotechnology. 2007;13(4):194-199. doi: 10.1159/000104752

28. Driehuis F. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. Agricultural and food science. 2013;22(1):16-34. doi: 10.23986/afsci.6699

29. Drouin P, Tremblay J, da Silva ÉB, Apper E. Changes to the microbiome of alfalfa during the growing season and after ensiling with Lentilactobacillus buchneri and Lentilactobacillus hilgardii inoculant. Journal of Applied Microbiology. 2022;133(4):2331-2347. doi: 10.1111/jam.15641

30. Duniere L, Xu S, Long J, Elekwachi C, Wang Y, Turkington K, Forster R, McAllister TA. Bacterial and fungal core microbiomes associated with small grain silages during ensiling and aerobic spoilage. BMC Microbiol. 2017;17(1):50. doi: 10.1186/s12866-017-0947-0

31. Fabiszewska AU, Zielińska KJ, Wróbel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview. World J Microbiol Biotechnol. 2019;35(3):76. doi: 10.1007/s11274-019-2649-2

32. Filya I, Sucu E. The effect of bacterial inoculants and a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of whole-crop cereal silages. Asian-Australas J Anim Sci. 2007;20(3):378-384. doi: 10.5713/ajas.2007.378

33. Gao Z, Daliri EBM, Wang J, Liu D, Chen S, Ye X, Ding T. Inhibitory effect of lactic acid bacteria on foodborne pathogens: a review. J Food Prot. 2019;82(3):441-453. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-18-303

34. Gharechahi J, Kharazian ZA, Sarikhan S, Jouzani GS, Aghdasi M, Salekdeh GH. The dynamics of the bacterial communities developed in maize silage. Microb Biotechnol. 2017;10(6):1663-1676. doi: 10.1111/1751-7915.12751

35. Gollop N, Zakin V, Weinberg ZG. Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. J Appl Microbiol. 2005;98(3):662-666. doi: 10.1111/j.1365-2672.2004.02504.x

36. Hu Z, Niu H, Tong Q, Chang J, Yu J, Li S, Zhang S, Ma D. The microbiota dynamics of alfalfa silage during ensiling and after air exposure, and the metabolomics after air exposure are affected by Lactobacillus casei and cellulase addition. Front Microbiol. 2020;11:519121. doi: 10.3389/fmicb.2020.519121

37. Kim D, Lee KD, Choi KC. Role of LAB in silage fermentation: Effect on nutritional quality and organic acid production-An overview. AIMS Agriculture & Food. 2021;6(1):216-234. doi: 10.3934/agrfood.2021014

38. Kroulik JT et al. Microbial activities in alfalfa and orchard grass ensiled under certain conditions in experimental silos. Journal of Dairy Science. 1955.38(3):263-272.

39. Li DongXia LD, Wang YanPing WY, Zhang YingChao ZY, Lin YanLi LY, Yang FuYu YF. Evaluation of lactic acid bacteria isolated from alfalfa for silage fermentation. Grassland Science. 2018;64(3):190-198. doi: 10.1111/grs.12198

40. Lin C, Bolsen KK, Brent BE, Hart RA, Dickerson JT, Feyerherm AM, Aimutis WR. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn. Journal of Dairy Science. 1992;75(9):2484-2493. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)78010-2

41. Lin J, Li G, Sun L, Wang S, Meng X, Sun L, Xu L. Varieties and ensiling: Impact on chemical composition, fermentation quality and bacterial community of alfalfa. Frontiers in Microbiology. 2023;13(1):1091491. doi: 10.3389/fmicb.2022.1091491

42. Lindgren S, Pettersson K, Jonsson A, Lingvall P, Kaspersson A. Silage inoculation. Selected strains, temperature, wilting and practical application. Swedish Journal of Agricultural Research 1985;15(1):9-18.

43. Liu M, Zhao L, Gong G, Zhang L, Shi L, Dai J, Sun L. Invited review: Remediation strategies for mycotoxin control in feed. J Animal Sci Biotechnol. 2022;13(1):19. doi: 10.1186/s40104-021-00661-4

44. McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. 2nd ed. Kingston, Kent: Chalcombe Publications; 1991:340 p.

45.Muck RE. Recent advances in silage microbiology. Agricultural and Food Science. 2013;22(1):3-15. doi: 10.23986/afsci.6718

46.Na N, Qili M, Wu N, Sun L, Xu H, Zhao Y, Tao Y. Bacterial community and fermentation quality of ensiling alfalfa with commercial lactic acid bacterial additives. Frontiers in Microbiology. 2022;13(4):836899. doi: 10.3389/fmicb.2022.836899

47.Neves AR, Pool WA, Kok J, Kuipers OP, Santos H. Overview on sugar metabolism and its control in Lactococcus lactis-the input from in vivo NMR. FEMS microbiology reviews. 2005;29(3):531-554. doi: 10.1016/j.fmrre.2005.04.005

48.O'Brien M, Nielsen KF, O'Kiely P, Forristal PD, Fuller HT, Frisvad JC. Mycotoxins and other secondary metabolites produced in vitro by Penicillium paneum Frisvad and Penicillium roqueforti Thom isolated from baled grass silage in Ireland. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006;54(24):9268-9276. doi: 10.1021/jf0621018

49.Östling C, Lindgren S. Influences of enterobacteria on the fermentation and aerobic stability of grass silages. Grass and Forage Science. 1995;50(1):41-47. doi: 10.1111/j.1365-2494.1995.tb02292.x

50.Pahlow G, Muck RE, Driehuis F, Elferink SJO, Spoelstra SF. Microbiology of ensiling. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH, editors. Silage science and technology. USA, Medison, Wisconsin. 2003;42(1):31-93. doi: 10.2134/agronmonogr42.c2

51.Pahlow G. Grundlagen der Bereitung von Qualitätssilage. In Schumann-Workshop Milchvieh-futterung. Mai in Bad Segeberg, 1993;18:5-23.

52.Pahlow G. Role of microflora in forage conservation. In: Pahlow G, Honig H, editors. Forage Conservation Towards 2000. Inst. Grassl. Forage Res., Braunschweig, Germany; 1991:26-36.

53.Pedroso AF, Nussio LG, Paziani SF, Loures RDS, Igarasi MS, Coelho RM, et al. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. Sci Agric. 2005;62(5):427-432. doi: 10.1590/S0103-90162005000500003

54.Punia Bangar S, Suri S, Trif M, Ozogul F. Organic acids production from lactic acid bacteria: a preservation approach. Food Biosci. 2022;46(4):101615. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101615

55.Richard E, Heutte N, Sage L, Pottier D, Bouchart V, Lebailly P. Garon D. Toxigen-ic fungi and mycotoxins in mature corn silage. Food Chem Toxicol. 2007;45(12):2420-2425. doi: 10.1016/j.fct.2007.06.018

56.Salminen S. Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects. 2 Ed. New York: Marcel Dekker Inc. 1998: 617 p.

57.Sanchez-Torres P. Emerging alternatives to control fungal contamination. Current Opinion in Food Science. 2024;61:101255. doi: 10.1016/j.cofs.2024.101255

58.Schnurer J, Magnusson J. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. Trends Food Sci. Technol. 2005;16(1-3):70-78. doi: 10.1016/j.tifs.2004.02.014

59.Shang ZD, Tan ZK, Li JK, Zhuo G, Li F, Wang HH, Xie GP, Liu SZ. Effects of different planting seasons on the fermentation quality and microbial diversity of corn silage in Tibet. Acta Agrestia Sin. 2019;27(2):488-496.

60.Slanetz LW, Bartley CH. Numbers of enterococci in water, sewage, and feces determined by the membrane filter technique with an improved medium. Journal of bacteriology. 1957;74(5):591-595. doi: 10.1128/jb.74.5.591-595.1957

61.Tao L, Guo XS, Zhou H, Undersander DJ, Nandety A. Characteristics of proteolytic activities of endo-and exopeptidases in alfalfa herbage and their implications for proteolysis in silage. Journal of Dairy Science. 2012; 95(8):4591-4595. doi: 10.3168/jds.2012-5383

62.Visser MMM, Driehuis F, Te Giffel MC, De Jong P, Lankveld JMG. Concentration of butyric acid bacteria spores in silage and relationship with aerobic deterioration. J Dairy Sci. 2007;90(2):928-36. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71576-X

63.Wang Y, Wu J, Lv M, Shao Z, Hungwe M, Wang J, Geng W. Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. Front Bioeng Biotechnol. 2021;9:612285. doi: 10.3389/fbioe.2021.612285

64.Wee YJ, Kim JN, Ryu HW. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. Food Technology and Biotechnology. 2006;44(2):163-172.

65.Weissbach F. New Developments in Crop Conservation. Proceedihgs of the 11 th international silage Conference. 8-11 September, 1996, Aberystwyth. 1996:11-25.

66.Wróbel B, Nowak J, Fabiszewska A, Paszkiewicz-Jasińska A, Przystupa W. Dry matter losses in silages resulting from epiphytic microbiota activity-A comprehensive study. Agronomy. 2023;13(2):450. doi: 10.3390/agronomy13020450

67.Wu B, Sui H, Qin W, Hu Z, Wei M, Yong M, Wang C, Niu H. Microbial Community and Fermentation Quality of Alfalfa Silage Stored in Farm Bunker Silos in Inner Mongolia, China. Fermentation. 2023;9(5):455. doi: 10.3390/fermentation9050455

68.Wu M, Wang Y, Wang Y et al. Study on the diversity of epiphytic bacteria on corn and alfalfa using Illumina MiSeq/NovaSeq high-throughput sequencing system. Ann Microbiol. 2021;71(1):38. doi: 10.1186/s13213-021-01649-1

69.Zhang JG, Cai Y, Kobayashi R, Kumai S. Characteristics of lactic acid bacteria isolated from forage crops and their effects on silage fermentation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000;80(10):1455-1460. doi: 10.1002/1097-0010(200008)80:10<1455::AID-JSFA667>3.0.CO;2-C

70.Zheng J, Wittouck S, Salvetti E, Franz CM, Harris HM, Mattarelli P, Lebeer S. A taxonomic note on the genus Lactobacillus: Description of 23 novel genera, emended description of the genus Lactobacillus Beijerinck 1901, and union of Lactobacillaceae and Leuconostocaceae. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2020;70(4):2782-2858. doi: 10.1099/ijsem.0.004107

71.Zheng M, Niu D, Zuo S, Mao P, Meng L, Xu C. The effect of cultivar, wilting and storage period on fermentation and the clostridial community of alfalfa silage. Italian Journal of Animal Science. 2018;17(2):336-346. doi: 10.1080/1828051X.2017.1364984

72.Zhou H, Jia S, Gao Y, Li X, Lin Y, Yang F, Ni K. Characterization of phyllosphere endophytic lactic acid bacteria reveals a potential novel route to enhance silage fermentation quality. Commun Biol. 2024;7(1):117. doi: 10.1038/s42003-024-05816-3

73.Zielke J, Pieper B. Characterisation of different yeast species from corn silage and their ability to degrade lactate. Proceedings of the XVIII International Silage Conference. 24-26 July 2018, Bonn, Germany. 2018:128-129.

Информация об авторах:

Елена Валентиновна Косолапова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а; тел.: 89101385897.

Николай Николаевич Кучин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а.

Владимир Викторович Косолапов, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Математика и вычислительная техника», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а.

Information about the authors:

Elena V Kosolapova, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22a Oktyabrskaya St., Knyaginino, 606340, tel.: 89101385897.

Nikolay N Kuchin, Dr Sci. (Agriculture), Professor, Professor of the Department of Technical Service, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22a Oktyabrskaya St., Knyaginino, 606340.

Vladimir V Kosolapov, Cand. Sci. (Technical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computing, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22a Oktyabrskaya St., Knyaginino, 606340.

Статья поступила в редакцию 11.12.2025; одобрена после рецензирования 06.02.2026; принята к публикации 16.03.2026.
The article was submitted 11.12.2025; approved after reviewing 06.02.2026; accepted for publication 16.03.2026.